

多目的遺伝的アルゴリズムを用いた補修計画策定

Decision of the maintenance program using Multi-objective Genetic Algorithm

古田均*, 亀田学広**, 福田喜子***, 中原耕一郎****

Hitoshi Furuta, Takahiro Kameda, Yoshiko Fukuda, Koichiro Nakahara

*工博 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)

**関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)

***関西大学 総合情報学部 総合情報学科 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)

****鹿島建設(株) 土木設計本部 設計技術部 (〒107-8502 港区赤坂 6-5-30)

Recently, the importance of structural maintenance has been widely recognized. In order to establish a rational maintenance program, it is necessary to develop a cost-effective decision-support system for the maintenance of existing infrastructures. Life-Cycle Cost (LCC) is an useful concept in reducing the overall cost and achieving an appropriate allocation of resources.

In general, Life-Cycle Cost optimization is to minimize the expected total cost which includes the initial cost involving design and construction, routine or preventive maintenance cost, inspection, repair and failure cost. Then, the optimal strategy obtained by LCC optimization can be different according to the prescribed safety level and required service life. In this paper, an attempt is made to discuss the relationships among the minimization of LCC, the optimal extension of structural service life, and the target safety level by using the multi-objective Genetic Algorithm (GA). Namely, the following three objective functions are employed: 1) LCC is minimized. 2) Service life is maximized. 3) Target safety is maximized. By introducing the multi-objective GA, it is possible to obtain several available solutions that have different structural life spans, safety levels and LCC values.

Key Words: LCC, optimization, multi-objective, genetic algorithm, service life, safety level

キーワード: 遺伝的アルゴリズム, 多目的, 耐用年数, 費用, 性能
維持管理計画

1. はじめに

近年, さまざまな分野で維持管理への関心が高まっている。現在, 構造物の利用者の利便性, 建設費用などを考慮すると, 新たに構造物を立て直すより, 現状の構造物の安全性を考慮し, 延命を行うことが重要である。管理者にとって維持管理費用を抑える計画案が重要であるが, これには様々な条件が関わってくる。例えば, 維持管理費用を最小とするには, 必要な健全性を 0.8 と決め, 耐用年数を 50 年間と決定した上で, 費用を最適化した計画案を立てることができる。しかし, 事前に制約条件として健全性, 耐用年数を決定してしまう事で, 例えば健全性を 0.7 に下げること, 管理費用を維持した状態で, 耐用年数を大幅にのばせる解が存在したとしても, それを発見することはできなくなる。管理費用, 健全性, 耐用年数を少しずつ変化させた解を考慮することは重要である。単目的で最適化を行う場合, 少しずつ制約条件等を変えながら様々な解を得る

ことは可能であるが, 多くの労力を必要とする。

管理者が維持管理計画を決定する為には, 様々な条件下の実行可能解を列挙した上で, その中から比較検討することが望まれる。多目的の視点から得られた解を比較, 検討することで, 選択された解の有用性を証明することができ, 近年求められている説明義務などの問題に対して有効である。

本研究では, 意思決定に必要となる様々な条件下の最適解を求めるために, 維持管理計画策定を多目的最適化問題と捉え, 複数の最適化された計画案を求めるために多目的遺伝的アルゴリズム¹⁾を適用しその結果に考察を加える。

2. コンクリート橋梁の維持管理計画の最適化

2.1. 対象橋梁のモデル

本研究でモデルとしたコンクリート橋梁群²⁾は, 海岸付近を通る高架の道路橋を想定している。このうち, 本研究

の対象となるのは、最も劣化の激しい橋脚及び床版(鋼製桁と RC 床版の合成構造)からなる 6 部材、1 橋梁である。高架橋は、6 つの構造部位(橋脚上部、橋脚下部、沓、桁、床版支承部、床版中央部)から構成される(図-1)。

コンクリート構造物の性能が低下する要因としては、構造物を取り巻く環境条件、気象条件、外力条件など外的要因のほか、設計条件及び施工条件による内的要因がある。また、主な劣化機構としては、中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリ骨材反応などの環境作用が原因のものと、疲労や過大荷重などの主に荷重条件が原因のものに大別

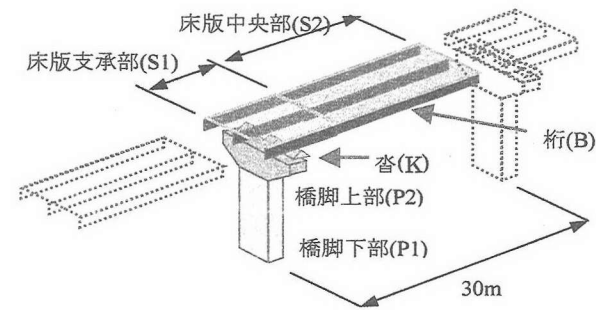


図-1. 橋脚の構造

される。本研究では、劣化要因を中性化、塩害弱、塩害中、塩害強の4つに大別し、対象橋梁は塩害強環境下のものとする。塩害強環境下における部材の性能劣化の差を図-2に示す。また表-1、2に各補修の効果を示す。

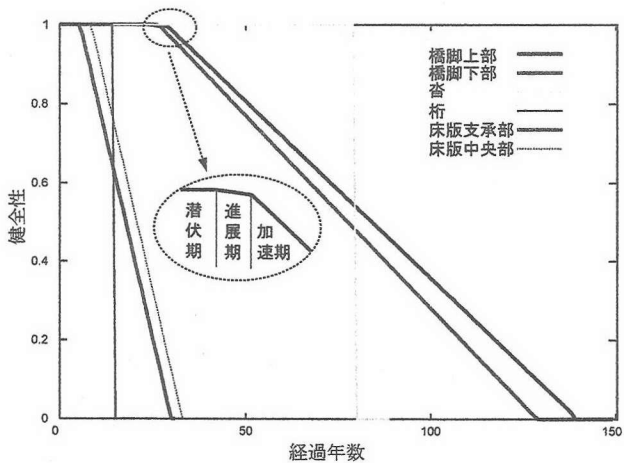


図-2. 塩害強環境下の各部材の性能劣化

本研究では、部材の性能を健全時に有している性能に対する割合として健全性で表す²⁾³⁾。部材の性能低下は、考慮する部位により劣化機構が異なるため、各構造部位(橋脚上部及び下部、沓、桁、床版支承部及び中央部)に区分して設定した。

橋脚の性能低下は環境作用の影響が主要因と考え、鉄筋残存率で表した。鉄筋腐食の過程はコンクリート標準示方書⁴⁾に基づき、潜伏期、進展期、加速期を経て腐食するモデルを用いた。

沓の性能低下、桁の性能低下は環境条件によらずそれぞ

れ、ゴム支承の耐用年数、塗装の耐用年数で表した。床版の性能低下は環境作用と繰り返し荷重の両方の影響によると考え、鉄筋残存率及び疲労に対する耐用年数を比較して性能劣化が速い方を床版の性能低下として表した(図-2)。

表-1. 橋脚、床版の補修工法と効果

部位	対策工法	平均的な効果の内容
橋脚 床版	表面塗装	性能低下を7年間抑止
	表面被覆	性能低下を10年間抑止
	断面修復 (鉄筋補強)	性能指数を100%まで回復。その後は初期の劣化曲線に従って劣化する
	脱塩 (再アルカリ化)	現状の性能指数から初期の劣化曲線に従って劣化する
	電気防食	性能低下を40年間抑止
	断面修復 及び表面被覆	性能指数を100%まで回復させ、性能低下を10年間抑止。その後は、初期の劣化曲線に従って劣化する

表-2. 桁、沓、床版の補修工法と効果

部位	対策工法	平均的な効果の内容
桁	鋼桁塗装	初期性能を耐用年数だけ維持
沓	支承取替	初期性能を耐用年数だけ維持
床版	打替	初期性能を耐用年数だけ維持

2.2 維持管理費用

供用期間の維持管理費用は、工事価格は直接工事費の値によって様々な諸経費が加算されたものとなる。すなわち工事価格は直接工事費+諸経費となる(図-3)。直接工事費は、各部材の面積に補修工法の応じた費用をかけ、さらに必要な足場の費用を加えたものである。

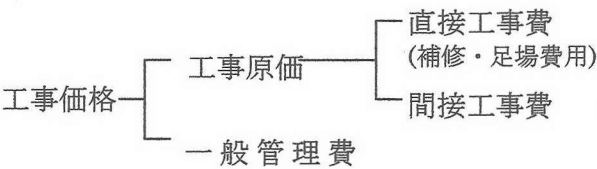


図-3. 工事費用の構成

足場費用は、他の部材と共有可能である。共有可能な組み合わせを表-3に示す。

表-3. 足場費用共用ルール

補修対象部材	足場を共用できる部材
橋脚上部	橋脚下部
橋脚下部	なし
沓	橋脚上部・下部
桁	全ての部材
床版支承部	橋脚上部・下部、沓
床版中央部	なし

基本的にある部材を補修するために必要な足場は、その部材の下方にある部材の足場を含む。また、間接工事費、一般管理費等は、国土交通省土木工事積算基準⁵⁾に基づき算出した結果、工事原価にかかる諸経費は工事原価が大きくなるにつれ、割引率が高くなり安価になる(図-4)。同時に工事を行うことでコスト削減が期待できる。しかしながら、補修・補強の間隔が短いものに合わせ、まだ使用できる部材をも交換を行うと無駄が生じ、コストが上がる。

補修計画を最適化するには、先に示した各部材の性能劣化と補修工法の効果および、費用(千円)(表-4、表-5)を参考になるべく無駄がでないように足場費用の削減を促し、同時工事による諸経費の削減を行う必要がある。部材群の補修工法と補修年度は無数の組み合わせが存在し、組み合わせ最適化問題と考えられる。

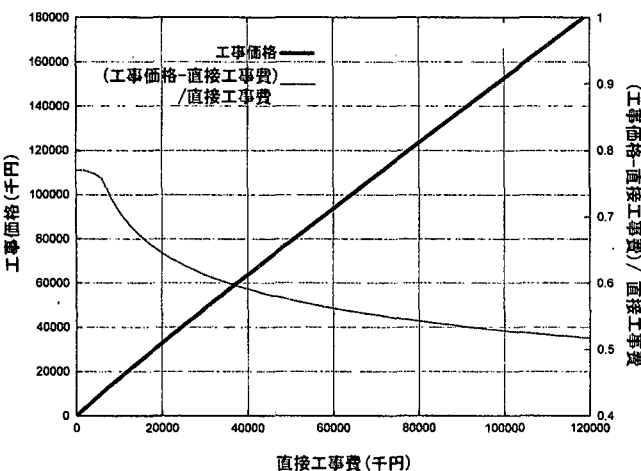


図-4. 工事費用の増大と間接費用率の減少

表-4 補修・補強費用

	P1	P2	K	B	S1	S2
表面塗装	780	1,920	-	-	1,640	3,280
表面被覆	2,730	6,720	-	-	4,100	8,200
断面修復	20,670	50,880	-	-	22,140	44,280
脱塩、再アルカリ化	3,510	8,640	-	-	7,380	14,760
電気防食	3,900	9,600	-	-	8,200	16,400
断面修復+表面被覆	22,620	55,680	-	-	26,240	52,480
更新	-	-	4,200	5,400	-	-

表-5 足場費用

橋脚上部	橋脚下部	杵	桁	床版 支承部	床版 中央部
360	190	360	4,830	690	510

3. 多目的最適化による維持管理計画策定

3.1 多目的最適化問題

多目的最適化問題⁹⁾とは、評価項目が複数個あり、これらを一つの目的関数にまとめることができない問題のことである。多目的最適化問題は、一般に次のように定義さ

れる。

定義(多目的最適化問題)： F を R^n 閉集合

$$F \triangleq \{x \mid g_i(x) \leq 0; i=1, \dots, m\} \quad (1)$$

とするとき、 $x(x \in F)$ の範囲で、

$$\min f(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x)) \quad (x \in R^n) \quad (2)$$

とせよ。

一般に各目的関数は同時に最小(あるいは最大)にすることはできず、これらの間にトレードオフ関数があることが問題の本質である。そこでトレードオフをバランスさせる為に「パレート最適性」の概念が重要になってくる。

パレート最適性を満足させるパレート最適解は次のように定義される。

1) $x^* \in X$ に対して、 $f(x) < f(x^*)$ (すなわち $f(x) \leq f(x^*)$ かつ $f(x) \neq f(x^*)$) となる $x \in X$ が存在しないとき x^* をパレート最適解という。

2) $x^* \in X$ に対して、 $f(x) \leq f(x^*)$ となる $x \in X$ が存在しないとき、 x^* を弱パレート最適解という。

3) すべての $x^* \in X$ に対して、 $f(x) \leq f(x^*)$ となる $x \in X$ が存在するとき、 x^* を完全最適解という。

一般に、複数の目的関数を同時に最適化する完全最適解は、目的関数が相競合する場合には存在しない。多目的最適化問題では、消極的な解として、目的関数のうちいずれか1つを犠牲にすることなしには、他のものを改善することができないような解、パレート最適解を得ることが目的となる。パレート最適解は、他よりも劣っていない解という意味で、非劣解とも呼ばれている(図-5)。同図で劣解はすべての目的関数値において優越される解(枠内)が存在するため、この解の存在意義はない。逆にパレート局面の解は、すべての目的関数値を優越する解が存在せず、このような解が複数あるため、唯一の解を決定できずパレート最適解集合となる。

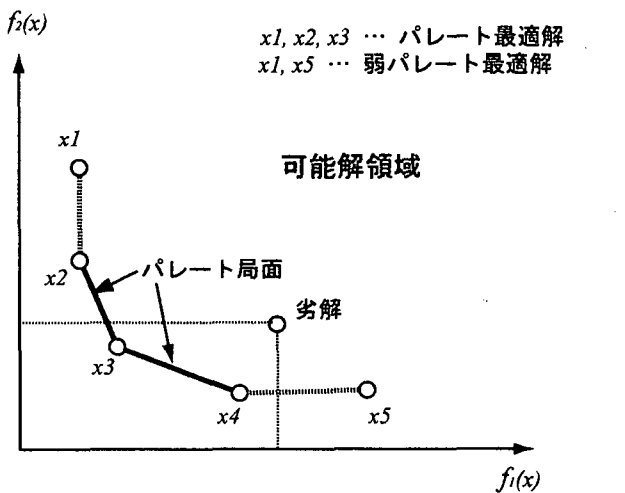


図-5. 2 目的関数のパレート最適解概念図

パレート最適解は複数個存在し、これを集合として求めることが、効率的かつ適切に多目的意思決定を行う上で重

要となる。意思決定は最終的には決定者（人間）の選好によるため、選好に関する情報をなるべくスムーズに引き出し、また決定過程における矛盾をなくして合理性を与えるのが多目的最適化の役割となる。ただし、問題が大きく組み合わせ問題などのNP完全問題の性質を持つ場合、様々な解を探索した上で、パレート最適集合を求め、これに対して意思決定を行う必要がある。

3.2 多目的遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム(以下GA:Genetic Algorithm)とは、生物の進化に着想を得た確率的探索手法の一つである。問題の解候補を個体としてGA空間に写像し交叉、突然変異、自然選択といった遺伝的オペレーターを行う。

- 1) 初期世代発生
 - 2) 親の決定
 - 3) 交叉・突然変異
 - 4) 自然選択
- 2)から4)を条件が満たされるまで、あるいは指定回数繰り返す。各個体は環境に対する適応度を持つ。環境とは問題空間を表す。各個体は、染色体すなわちDNAとしての側面である遺伝子型(Gene Type: GTYPE)と解候補としての側面である表現型(Phenomenon Type: PTYPE)を持つ。各個体は、解候補の側面であるPTYPEによって、目的関数の評価値を与えられ、これにより次世代に遺伝子を伝える確率、生き残る確率が左右される。よりよい評価値を得たものが次世代に遺伝子を伝えることで、よりよい個体、よりよい解候補を生み出すことが可能となる。また、交叉、突然変異における新たな個体の生成は、GTYPEに対して行われる。これにより、無作為な解の多様性を簡単に維持し、有用な解の近傍探索を可能としている。

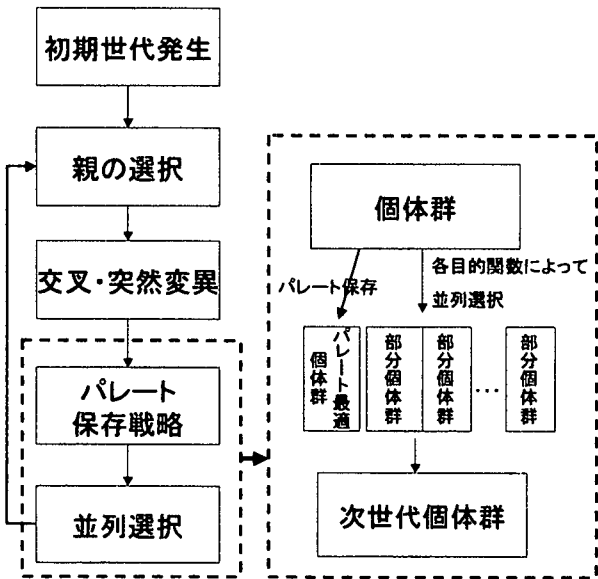


図-6. MOGA のアルゴリズム

多目的遺伝的アルゴリズム(以下MOGA:Multi-Objective GA) ⁹⁾とは、GAの持つ「集合による探索」の特徴に注目し、パレート最適解の集合を直接的に求めることを目的と

するアルゴリズムである。MOGAではそれぞれの目的関数に対してある程度良い値をとる個体を同時に保持しながら、探索を進める。以下、図-6にアルゴリズムを示す

本研究では玉置ら⁹⁾が提案するパレート保存戦略と並列選択を組み合わせた淘汰機構を用いる。まず、パレート保存戦略において、現個体群中におけるパレート最適性を有する個体を保存し、残りの個体群を目的関数の数で均等に配分し、各目的関数を基準に選択を行う。ただし、次世代の数より、パレート最適性を有する個体が多い場合は、パレート最適個体群の中のみで、並列選択を行う。パレート保存戦略によって妥協解を強制的に次世代に残すとともに、並列選択により各目的関数値のさらなる改善を図っている。

3.3 維持管理計画策定における多目的最適化問題

管理者が維持管理計画を策定する場合、様々な条件下における複数の解を比較検討し、計画を決定することが望ましい。本研究では、管理者の意思決定に必要な解を得る問題を多目的最適化問題として捉え直し、システムを構築する。最適な補修計画を策定するためには、必要とされる健全性や目標とする耐用年数をあらかじめ決定し、計画を策定する事も考えられるが、事前に必要な健全性や耐用年数を決定し求めた計画と少し条件をゆるめることで、どの程度の対費用効果があるのか、あるいは耐用年数の変更に対し、管理費用が変化しない範囲で延長したいなどの要望に答えるには多大な労力を必要とする。

そこで本研究では計画を最適化するための前提条件である管理費用、健全性、耐用年数を目的関数と定義する。本システムでは健全性をその時点での性能と定義する。すなわち、維持管理費用を最小に、健全性を最大に、耐用年数を最大にすることを目的とし、多目的最適化問題として解の探索を行う。ここで各目的関数間には、トレードオフ関係が存在する。例えば、耐用年数を伸ばすことは維持管理費用を増大させることにつながる。また、維持管理費用を最小にすることは健全性、耐用年数を小さくすることにつながってしまう。多目的最適化を行った維持管理計画は、各目的関数値を改善するには他の目的関数値を低下させてしまう限界点の解、すなわち複数のパレート解を求めることになる(図-7)。

従って、維持管理計画の策定を多目的最適化問題と捉えることで、各種条件下で最適化された複数の解を求めることができる。更に多目的最適化によって得られるパレート解によって、前提条件を設定した最適化では考えられなかったような意外な解が得られる事も期待できる。

本システムにおいて多目的最適化の対象は補修計画であるが、20年程度の短期の計画案を繰り返し、長期の計画案とするものが必ずしも良い計画とならない場合がある。なぜなら長期計画の場合(例えば50年間以上)、短期では必要としなかった、長期間の効果を有する補修工法が有効になる事も考えられる。このように多目的最適化を行うことは、様々な補修計画の組み合わせを考慮していく必要があり、人手で行うには困難が生じてくる上、明確な

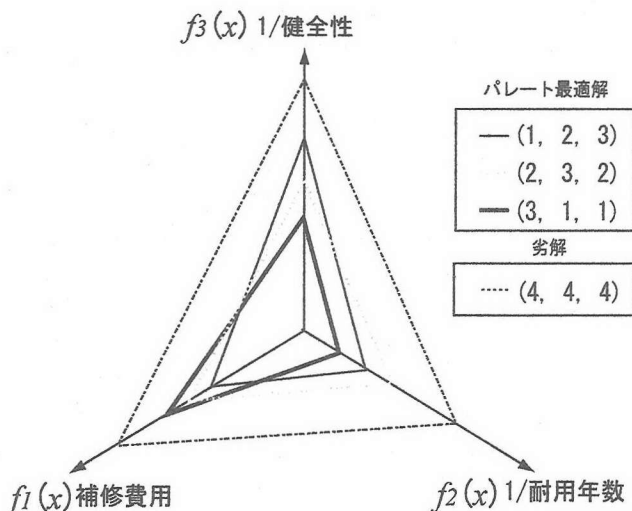


図-7. 維持管理計画における多目的最適化

計画策定のルールを定義することは非常に難しい。そこで本研究では、ルール生成を行わず非常に簡単なアルゴリズムで様々な解を見つけだすために MOGA を中心にシステムを構築する。

4. システムの構築と適用

4.1 GA の構成

本システムでは、遺伝子を図-8に示すように構成する。各個体を持つ DNA を補修工法部、補修間隔部、耐用年数部に分ける。補修工法部と補修間隔部は同じ長さを取り、間隔部の合計が考慮する耐用年数に十分な期間を表せる長さとする。補修工法部の遺伝子情報は、補修の識別番号が入り、補修間隔部には次の補修までの何もし $g f r v d + y 6$ うい初 $h y c v 5 t r$ ない期間が入る。本システムでは補修・補強を行う部材の識別番号 1 を表面塗装, 2 を表面被覆, 3 を断面修復, 4 を再アルカリかおおよび電気防食, 5 を断面修復+表面塗被覆とした。これらの情報を用い、補修計画を作り出す。更に耐用年数部は 6bit の 2 進数値を持ち、これを 10 進数値に戻したものに定数(本システムでは 30)を足して、耐用年数とする。上の例では 30 から 94 年間の耐用年数を探索できるように構成している。健全性は図-2 で示したように 0 から 1 の範囲で表されるため、全 6 部材では 0 から 6 の範囲の数値をとる。本研究で対象とする橋梁は 6 部材存在するため、実際には図-9 のような構成になる。

交叉で次世代、すなわち新たな解候補を作り出す際、各個体は同図の遺伝子を持ち、これらを図-10 に示すように適当な位置で切って入れ替えるという簡単な方法をとる。更に突然変異において、補修間隔部では突然変異が他の遺伝子情報に影響を与えないよう、独立させるために補正を行う(図-11)。

目的関数は、以下に示すように定義した。

1) 工事費用

2.2 で示した定義に従い、耐用年数までの補修工事をすべて足したものとす。より小さくすることを目的とする。

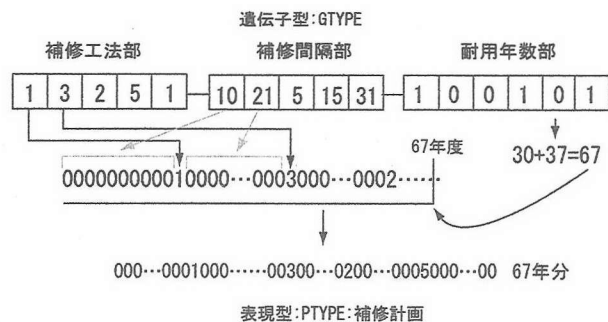


図-8. 遺伝子列の構成と計画の生成



図-9. 各個体を持つ遺伝子群の構造

2) 健全性

健全性を性能維持と定義する。健全性は毎年の性能を積分したものを耐用年数で割った年度の平均健全性を向上させることを目的とする。

3) 耐用年数

耐用年数は遺伝子によって決定されたものとする。最大化を目的とする。

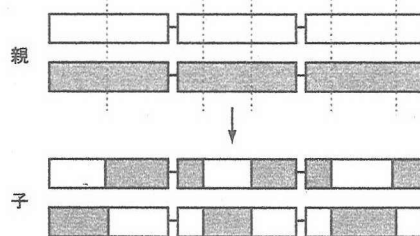


図-10. 交叉方法

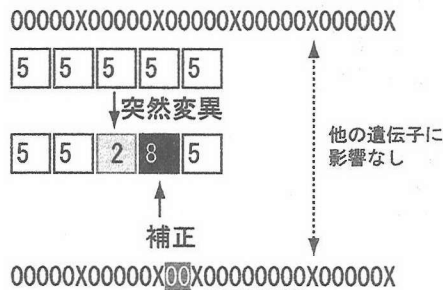


図-11. 突然変異

4.2 GA の実行と結果

MOGA は表-6 のパラメータを用いて実行した。

表-6. MOGA 実行パラメータ			
個体数	交叉率	突然変異率	世代数
2000	0.6	0.05	5000

以上の構成で MOGA を実行した結果が、図-12, 13, 14, 15 である。各図では、1 世代目の個体群中でのパレート最適解と各目的関数の変動が収まる 5000 世代目の個体群中でのパレート最適解を比較している。各々の図では初期個体に比べ最終的な個体群は非常に多い。これは探索によって広いパレート最適局面を個体群で探索している結果を示している。図-12 では三次元上にプロットし比較している。同図が示すように、すべての目的関数に対して進化し、よりよい解を探索していることが分かる。また初期世代では広く分布しているが

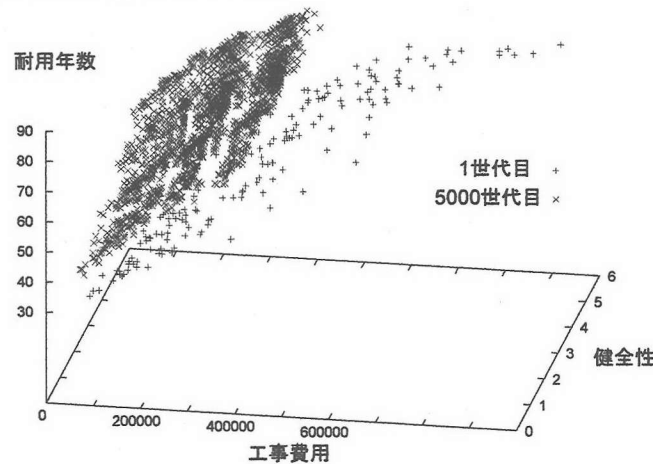


図-12. MOGA の進化の様子

最終的な解群では、空間上のある部分に解の集積が見られ、それらには不連続性が見られる。これらの結果から各目的関数間のトレードオフ関係が作り出す局面が凹凸であることが分かる。もし短期計画を繰り返し長期とすることで解決できる問題なら、このような凹凸を作り出さず、なめらかな局面になるはずである。結局、3.3 で述べたように短期の補修計画を繰り返し長期にするだけで良い補修を作り出すことができない事が分かる。

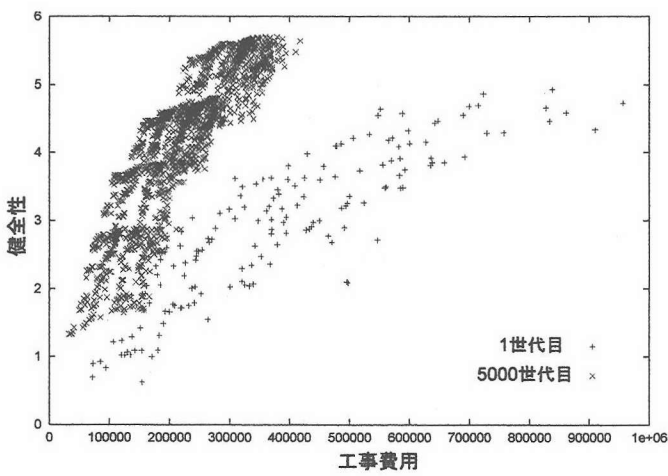


図-13. 工事費用と健全性で比較した図

図-13 は工事費を x 軸と健全性を y 軸としてプロットした図である。初期世代の個体群と比べると最終個体は健全性を維持しつつ工事費用を削減することに成功している。

すなわち補修計画を最適化していることがわかる。そして、二つの目的関数を同時最適化ができない地点からパレート局面に広く分布している様子が分かる。また同図より、補修費用の増大と健全性の維持は、完全に比例関係でないことと、解の集合に偏りがある事がわかる。これは、例えば、工事費用 10,000 から 20,000 かつ健全性 4.5 から 4.8 付近の分布が緩やかなため、工事費用、工事予算を増強することが健全性維持の向上に与える影響は少ないことを示唆している。同様に健全性 5.5 から 6.8 付近かつ工事費用 20,000 から 40,000 付近でも工事費用の補充が健全性の維持にあまり貢献しない。このことを考慮すると十分な健全性が得られるソリューションの中では、対費用効果がピークに達した地点の解を選ぶといった柔軟な意思決定と意思決定の論理的裏付けを得ることが可能となる。

図-14 は工事費用を x 軸、耐用年数を y 軸としてプロットした図である。同図が示すように工事費用と耐用年数の関係はほぼ比例関係である。単に耐用年数を上げるには工事費用を増大させることが必要になることが示されている。

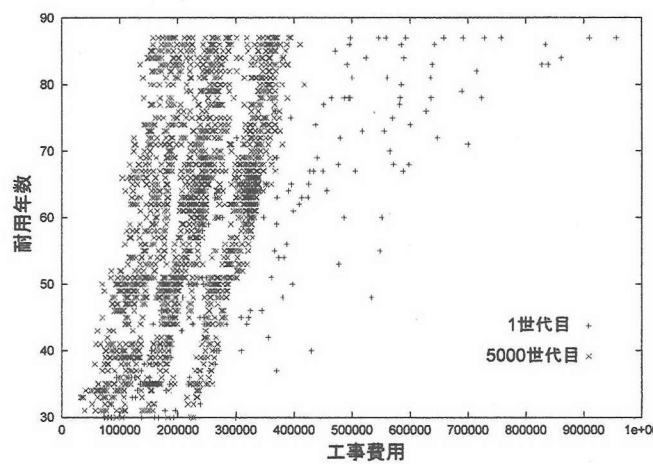


図-14. 工事費用と健全性で比較した図

図-15 は健全性を x 軸、耐用年数を y 軸としてプロットした図である。健全性と耐用年数のみでは明確なトレードオフ関係は見あたらない。しかし工事費用を一定と考えれば

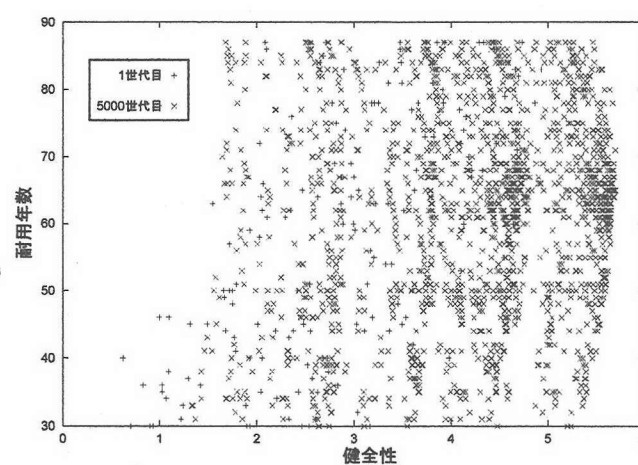


図-15. 健全性と耐用年数で比較した図

ば、健全性と耐用年数は工事費用の割り当てのバランスをとる解が必要となってくる。図-13 で示したように多様な工事費用のパターンを求めていることが見て取れる。また同図が示すように耐用年数が 60 年付近かつ健全性 4.5 かつ 5.5 の位置に解が集まっている。この付近に、あるコストのもとで耐用年数と健全性をバランスさせた解が複数存在していることを示している。

4.3 考察

MOGA を用いた多目的最適化により得られた解（図-16 の丸囲いで示されたもの）を図-17、図-18、図-19、図-20 に、各補修計画と図-16 の丸囲い付近に存在する複数の解の目的関数に対する評価値の比較を表-7 に示す。図-16 に示された解を選択した理由はトレードオフ関係の凹凸の中で特に多く解が集まっていることと、比較的高い健全性を維持している解であるためである。以下、この 4 つの解候補を含む 12 の解を比較し、システムの有用性を検証する。

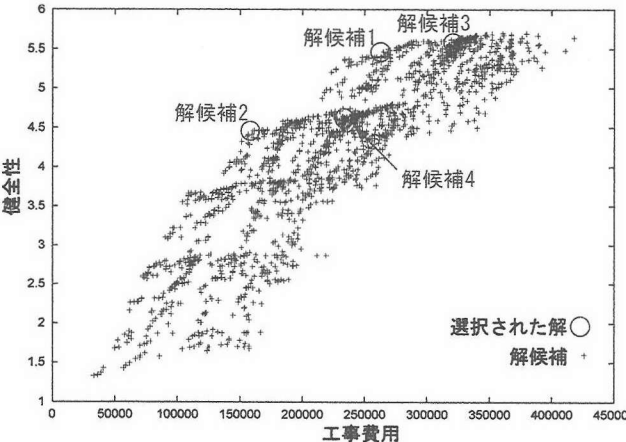


図-16. 最終の解候補の位置



図-17. 解候補 1

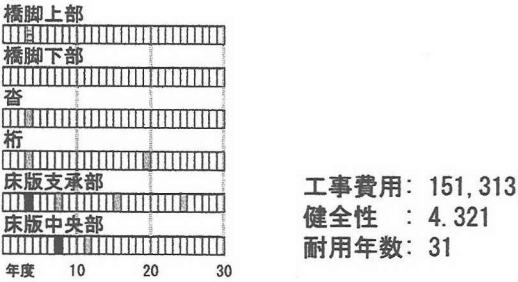


図-18. 解候補 2

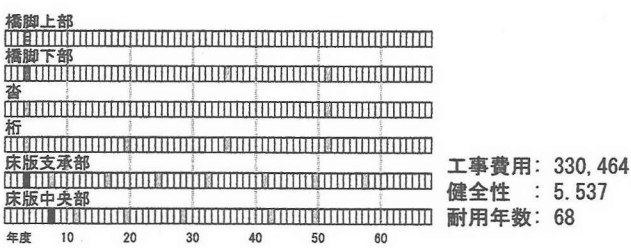


図-19. 解候補 3

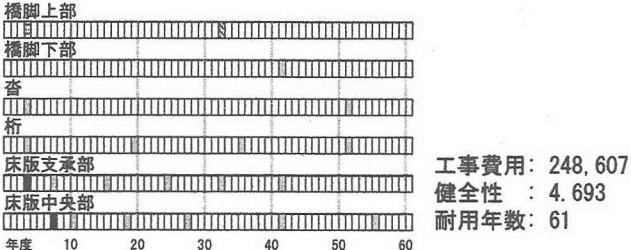


図-20. 解候補 4

各補修計画に注目すると、同時工事の実施で工事費用を最適化していることが見て取れる。例えば図-19 においては、かなり多くの同時工事が行われ費用削減効果を上げている。一方で、わずかな差で同時工事を行っていないものがある。例えば、図-19 の 50 年度から 52 年度の補修などである。精度が向上しない理由は、多目的最適化のための並列選択機構によりコストの最適化効果が他の目的関数への割り当てにより阻害されるためと考えられる。しかしながら、わずかな工事費用の削減をある程度探索できている。

表-7 各解の評価値一覧			
解候補 No	工事費用	健全性	耐用年数
A	150,360	4.194	32
B	151,313	4.321	31
C	221,236	4.598	53
D	222,334	4.983	35
E	248,607	4.693	61
F	251,251	5.401	35
G	253,018	5.391	36
H	259,549	5.401	35
I	287,588	5.145	55
J	330,348	5.572	66
K	330,464	5.537	68
L	332,230	5.649	60

先に示したものを含め最終世代に残された解候補を表-7 に示した。12 のサンプルを確認するとすべて優劣の付けられないパレート最適解である。同表の 5, 6 を比較すると同等の工事費用であるが、耐用年数は大きく違う。もちろん、5 は耐用年数の延長に伴い健全性は下がっている。同様に、同表の 4, 8 を比較すると同じ耐用年数であるが、工事費用は大幅に違っている。もちろん健全性も大きく離れている。

以上の結果から、多目的最適化によって様々な条件を持

つ解を得られていることが分かる。更に本システムによって同時工事による工事費用削減効果も探索できていることが示された。

非常に多くのパレート最適性を持つ解群を求めたが、すべてをチェックすることはできないため、工事費用と健全性の観点から、パレート局面の凹凸の峰のいくつかを中心に代表的な解を取り出し、比較検討を行った。

5. おわりに

本システムでは、様々なよりよい維持管理計画を得るために、最適化を行うための前提条件となりうる健全性、工事費用、耐用年数を目的関数と捉え直し、維持管理計画策定を多目的最適化問題と定義し、多目的遺伝的アルゴリズムを適用した。更に多目的最適化によって得られた優劣の付けられないパレート最適解を複数もとめ、意思決定支援システムとしての位置づけを提案した。本システムによって、非常に多くの解とその分布を明らかにすることができた。更に分布の視覚化によって、より簡単に意思決定の基準を置くことを可能とし、意思決定の論理的裏付けを行えることを示した。

本システムでは、多目的最適化によって新しい意思決定方法を提案できたが、解候補自体の最適化の余地が残る。例えば、同時工事による削減効果を生かし切れていない解も見られた。また多目的最適化によって非常に多くの解候補を得られたが、これらをいかに選別するか、どう扱うかについては検討が必要である。

しかしながら、本研究で提案する方法論、意思決定支援システムとしての位置づけは今後、維持管理計画策定の場面で重要な方法論となると考えられる。

参考文献

- 1) 古田・杉本：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用，森北出版，1997.
- 2) 伊藤・高橋・古田・田丸・亀田：ライフサイクルコストを考慮したコンクリート橋梁群の最適維持管理計画の策定，第7回システム最適化に関するシンポジウム，2001
- 3) Hiroyuki Ito, Yuji Takahashi, Hitoshi Furuta, and Takahiro Kameda. *An Optimal Maintenance Planning for Many Concrete Bridges Based on Life-Cycle Cost*. IABMAS, 2002
- 4) 2001 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]，土木学会，2001
- 5) 平成 13 年度版 国土交通省土木工事積算基準，(財)建設物価調査会，2001.
- 6) 多目的最適化 伊理正夫，今野浩編：数理計画法の応用<理論編>，産業図書，1982
- 7) 北野弘明編：遺伝的アルゴリズム 2，産業図書，1995

(2003 年 4 月 18 日 受付)